

Marek CAŁA

Jerzy FLISIAK

Antoni TAJDUŚ

Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

WPLYW NIEPODSADZONYCH WYROBISK PRZYSZYBOWYCH NA DEFORMACJE POWIERZCHNI

Streszczenie

Restrukturyzacja górnictwa węgla kamiennego związana jest z likwidacją szeregu nierentownych kopalń, z których większość zlokalizowana jest w rejonach silnie zurbanizowanych. Rejony te są lub będą w nieodległej przyszłości wykorzystywane do celów gospodarczych lub komunalnych, co związane jest z istnieniem bądź wykonawstwem w przyszłości różnego rodzaju obiektów budowlanych. Jednym z najistotniejszych zagadnień wymagających pilnego rozwiązania jest więc opracowanie wiarygodnej metodyki prognozowania doraźnych i perspektywicznych skutków likwidacji kopalń podziemnych na środowisko naturalne. W prezentowanej pracy ograniczono się do przedstawienia metodyki prognozowania ekstremalnych wartości wskaźników deformacji, jakie mogą wystąpić na powierzchni terenu po zakończeniu procesu likwidacji pojedynczych wyrobisk chodnikowych i komorowych. Wyprowadzone, przy zastosowaniu teorii Budryka-Knothe'go wzory, oraz sporządzone na ich podstawie nomogramy umożliwiają prostą i szybką ocenę skutków pozostawienia nie podsadzonych wyrobisk, oraz wytypowanie wyrobisk, których podsadzenie jest niezbędne, dla uzyskania założonego stopnia ochrony powierzchni.

1. WSTĘP

Restrukturyzacja górnictwa węgla kamiennego związana jest z likwidacją szeregu nierentownych kopalń, z których większość zlokalizowana jest w rejonach silnie zurbanizowanych. Rejony te są lub będą w nieodległej przyszłości wykorzystywane do celów gospodarczych lub komunalnych, co związane jest z istnieniem bądź wykonawstwem w przyszłości różnego rodzaju obiektów budowlanych. Nic więc dziwnego, że problematyka oddziaływania likwidowanych kopalń na środowisko naturalne budzi powszechne zainteresowanie, oraz niejednokrotnie niepokój ludności. Jednym z najistotniejszych zagadnień wymagających pilnego rozwiązania jest opracowanie wiarygodnej metodyki

prognozowania skutków likwidacji kopalni podziemnych zarówno doraźnych jak i w perspektywie długookresowej. Należy bowiem zdawać sobie sprawę z faktu, że niektóre skutki ujawniać się będą dopiero po upływie długiego czasu, sięgającego dziesiątek a może nawet setek lat. Przykłady tego typu oddziaływań obserwowane są powszechnie na Górnym Śląsku, gdzie po upływie wielu lat od zakończenia eksploatacji pojawiają się na powierzchni terenu różnego rodzaju deformacje nieciągłe w postaci zapadlisk, progów terenowych czy też osuwisk.

W każdej likwidowanej kopalni znajduje się rozległa sieć wyrobisk korytarzowych oraz komorowych, których bieżącą stateczność gwarantuje obudowa. Żywotność obudowy nie jest jednak nieograniczona. W miarę upływu czasu ulegać ona będzie osłabianiu na skutek różnych czynników związanych z naciskiem otaczającego górotworu, procesami reologicznymi zachodzącymi w górotworze i obudowie, korozją obudowy wywołaną przez atmosferę kopalnianą oraz wodę, często agresywną, która kiedyś wypełni te wyrobiska. Niszczenie obudowy przyczyni się do spadku lub całkowitej utraty jej podporności, czego konsekwencją będzie stopniowe lub gwałtowne przemieszczanie się skał otaczających, prowadzące do zmniejszania przekroju wyrobisk oraz do całkowitej ich likwidacji. Przemieszczanie się górotworu otaczającego wyrobiska spowoduje określone skutki na powierzchni terenu, których skala zależeć będzie od głębokości wyrobisk, ich wymiarów i kształtu, własności wytrzymałościowych i odkształceniowych skał oraz rodzaju zastosowanej obudowy.

Czasoprzestrzenne prognozowanie stopnia degradacji powierzchni terenu na skutek samolikwidacji wyrobisk chodnikowych i komorowych jest zagadnieniem bardzo istotnym dla oceny oddziaływania na obiekty istniejące oraz ze względu na perspektywy wykorzystania tych terenów w przyszłości. Jest to jednocześnie zagadnienie niezmiernie złożone. Nieznane są bowiem metody oceny wpływu czasu na żywotność obudowy, a istniejące teorie deformacji, w tym najpopularniejsza teoria Budryka-Knothe'go, zostały w sposób wiarygodny zweryfikowane jedynie dla dużych wymiarów przestrzeni eksploatacyjnej, prowadzących do wytworzenia się pełnych niecek osiadania. Do chwili obecnej nie opracowano natomiast wiarygodnej i jednoznacznie zweryfikowanej, w polskich warunkach, metodyki prognozowania deformacji górotworu na skutek likwidacji wyrobisk o niewielkich wymiarach, takich jak wyrobiska korytarzowe czy komorowe.

Niewielkie wymiary poprzeczne wyrobisk korytarzowych oraz komór powodują, że skutki oddziaływania na powierzchnię pojedynczego wyrobiska nie stwarzają poważniejszego zagrożenia szczególnie wówczas, gdy znajduje się ono na znacznej głębokości. Sytuacja

pogarsza się, jeżeli w niewielkiej odległości od siebie znajduje się szereg wyrobisk. Może wówczas dochodzić do nakładania się (superpozycji) wpływów, w wyniku czego wystąpić mogą większe deformacje niż wywołane likwidacją pojedynczego wyrobiska. Przy niewielkiej odległości pomiędzy wyrobiskami dochodzić może również do niszczenia filarów pomiędzy nimi, czego konsekwencją może być wzrost wskaźników deformacji. Największa koncentracja wyrobisk korytarzowych i komór występuje w bezpośrednim sąsiedztwie szybów i tam właśnie nie wypełnienie wyrobisk podsadzką lub innymi materiałami może stwarzać duże zagrożenie.

W prezentowanej pracy przedstawiono metodykę prognozowania ekstremalnych wartości wskaźników deformacji, jakie mogą wystąpić na powierzchni terenu po zakończeniu procesu samolikwidacji pojedynczych wyrobisk chodnikowych i komorowych. Wyprowadzone, przy zastosowaniu teorii Budryka-Knothe'go wzory, oraz sporządzone na ich podstawie nomogramy umożliwiają prostą i szybką ocenę skutków pozostawienia nie podsadzonych wyrobisk, oraz wytypowanie wyrobisk, których podsadzenie jest niezbędne, dla uzyskania założonego stopnia ochrony powierzchni.

2. PODSTAWY TEORETYCZNE PROGNOZOWANIA WPŁYWU LIKWIDACJI WYROBISK CHODNIKOWYCH I KOMOROWYCH NA DEFORMACJE POWIERZCHNI

Zgodnie z teorią Budryka-Knothe'go (Knothe 1984, Flisiak 1993) osiadanie w danym punkcie $M(x,y)$ na powierzchni terenu, będące skutkiem wybrania partii złoża o powierzchni P i stałej miąższości g , można określić wzorem:

$$w(x,y) = -\frac{W_{\max}}{r^2} \int \int_{(P)} \exp\left\{-\frac{\pi}{r^2} [(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2]\right\} d\xi d\eta \quad (1)$$

gdzie:

$w(x,y)$ - końcowe osiadanie punktu M o współrzędnych (x,y) , na skutek wybrania obszaru P ,

w_{\max} - maksymalne osiadanie powierzchni, jakie wystąpić może po wybraniu pokładu na dostatecznie dużym obszarze, po upływie odpowiednio długiego czasu,

r - promień zasięgu wpływów głównych (parametr rozproszenia wpływów).

Przy założeniu, że strefa eksploatacyjna ma kształt prostokąta o krawędziach równoległych do osi przyjętego, lokalnego układu współrzędnych, którego wymiary określa wyrażenie:

$$P(x, y) = \begin{cases} x_1 \leq \xi \leq x_2 \\ y_1 \leq \eta \leq y_2 \end{cases}$$

wzór (1) przyjmie postać:

$$w(x, y) = \frac{w_{\max}}{4} \left\{ \Phi \left[\frac{\sqrt{\pi}}{r} (x_2 - x) \right] - \Phi \left[\frac{\sqrt{\pi}}{r} (x_1 - x) \right] \right\} \left\{ \Phi \left[\frac{\sqrt{\pi}}{r} (y_2 - y) \right] - \Phi \left[\frac{\sqrt{\pi}}{r} (y_1 - y) \right] \right\} \quad (2)$$

gdzie:

$\Phi(t)$ - całka prawdopodobieństwa:

$$\Phi(t) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^t \exp(-\tau^2) d\tau$$

x, y - współrzędne punktów na powierzchni,

$\left. \begin{matrix} x_1, y_1 \\ x_2, y_2 \end{matrix} \right\}$ - odległości krawędzi obszaru od osi układu współrzędnych.

Wzór (2) umożliwia określenie osiadań dowolnego punktu powierzchni, a dokładność obliczeń zależy jedynie od dokładności oszacowania całki prawdopodobieństwa. Wartości tej całki określić można z tablic, obliczyć poprzez rozwinięcie w szeregi funkcyjne i asymptotyczne (dla małych wartości argumentu) lub też obliczyć numerycznie poprzez rozwiązywanie całek pojedynczych. Poprzez różniczkowanie wyrażenia (2) określić można wzory na pozostałe wskaźniki deformacji opisujące kształt niecki, a mianowicie:

- nachylenie profilu niecki w kierunku osi x :

$$T_x(x, y) = \frac{\partial w(x, y)}{\partial x} = \frac{w_{\max}}{2r} \left\{ \exp \left[-\frac{\pi}{r^2} (x_2 - x)^2 \right] - \exp \left[-\frac{\pi}{r^2} (x_1 - x)^2 \right] \right\} \cdot \left\{ \Phi \left[\frac{\sqrt{\pi}}{r} (y_2 - y) \right] - \Phi \left[\frac{\sqrt{\pi}}{r} (y_1 - y) \right] \right\} \quad (3)$$

- nachylenie profilu niecki w kierunku osi y :

$$T_y(x, y) = \frac{\partial w(x, y)}{\partial y} = \frac{w_{\max}}{2r} \left\{ \exp \left[-\frac{\pi}{r^2} (y_2 - y)^2 \right] - \exp \left[-\frac{\pi}{r^2} (y_1 - y)^2 \right] \right\} \cdot \left\{ \Phi \left[\frac{\sqrt{\pi}}{r} (x_2 - x) \right] - \Phi \left[\frac{\sqrt{\pi}}{r} (x_1 - x) \right] \right\} \quad (4)$$

- nachylenie całkowite:

$$T = \sqrt{T_x^2 + T_y^2} \quad (5)$$

- krzywizna profilu niecki w kierunku osi x :

$$\begin{aligned}
K_x(x,y) &= \frac{\partial^2 w(x,y)}{\partial x^2} = \\
&= \frac{\pi w_{\max}}{r^3} \left\{ (x_2 - x) \exp\left[-\frac{\pi}{r^2}(x_2 - x)^2\right] - (x_1 - x) \exp\left[-\frac{\pi}{r^2}(x_1 - x)^2\right] \right\} \cdot \\
&\left\{ \Phi\left[\frac{\sqrt{\pi}}{r}(y_2 - y)\right] - \Phi\left[\frac{\sqrt{\pi}}{r}(y_1 - y)\right] \right\}
\end{aligned} \tag{7}$$

- krzywizna profilu niecki w kierunku osi y :

$$\begin{aligned}
K_y(x,y) &= \frac{\partial^2 w(x,y)}{\partial y^2} = \\
&= \frac{\pi w_{\max}}{r^3} \left\{ (y_2 - y) \exp\left[-\frac{\pi}{r^2}(y_2 - y)^2\right] - (y_1 - y) \exp\left[-\frac{\pi}{r^2}(y_1 - y)^2\right] \right\} \cdot \\
&\left\{ \Phi\left[\frac{\sqrt{\pi}}{r}(x_2 - x)\right] - \Phi\left[\frac{\sqrt{\pi}}{r}(x_1 - dx)\right] \right\}
\end{aligned} \tag{8}$$

Do obliczania przemieszczeń i odkształceń poziomych wykorzystywana jest najczęściej hipoteza Awierszina-Litwiniszyna, zgodnie z którą:

- przemieszczenie w kierunku osi x :

$$u_x = -B \frac{\partial w(x,y)}{\partial x} = -BT_x(x,y) \tag{9}$$

- przemieszczenie w kierunku osi y :

$$u_y = -B \frac{\partial w(x,y)}{\partial y} = -BT_y(x,y) \tag{10}$$

- odkształcenie w kierunku osi x :

$$\varepsilon_x = -B \frac{\partial^2 w(x,y)}{\partial x^2} = -BK_x(x,y) \tag{11}$$

- odkształcenie w kierunku osi y :

$$\varepsilon_y = -B \frac{\partial^2 w(x,y)}{\partial y^2} = -BK_y(x,y) \tag{12}$$

gdzie: B - współczynnik odkształceń poziomych.

Dla wyrobisk chodnikowych o szerokości b i znacznie większej od niej długości wzory na wartości wskaźników deformacji mają postać:

- przemieszczenie pionowe:

$$w(x,y) = -\frac{w_{\max}}{2} \left\{ \Phi\left[\frac{\sqrt{\pi}}{r}\left(\frac{b}{2} - x\right)\right] - \Phi\left[\frac{\sqrt{\pi}}{r}\left(-\frac{b}{2} - x\right)\right] \right\} \tag{13}$$

- nachylenie:

$$T = \frac{w_{\max}}{r} \left\{ \exp \left[-\frac{\pi}{r^2} \left(-\frac{b}{2} - x \right)^2 \right] - \exp \left[-\frac{\pi}{r^2} \left(\frac{b}{2} - x \right)^2 \right] \right\} \quad (14)$$

- krzywizna:

$$K = \frac{2\pi w_{\max}}{r^3} \left\{ \left(\frac{b}{2} - x \right) \exp \left[-\frac{\pi}{r^2} \left(\frac{b}{2} - x \right)^2 \right] + \left(\frac{b}{2} + x \right) \exp \left[-\frac{\pi}{r^2} \left(-\frac{b}{2} - x \right)^2 \right] \right\} \quad (15)$$

gdzie x jest odległością od środka chodnika.

Przy ocenie skutków likwidacji wyrobisk chodnikowych istotna jest znajomość ekstremalnych wartości wskaźników deformacji. Ekstremalne przemieszczenia pionowe powierzchni terenu występują bezpośrednio ponad środkiem chodnika, gdzie ich wartość wynosi:

$$w_{ekstr} = -w_{\max} \Phi \left[\frac{\sqrt{\pi} b}{r} \right] \quad (16)$$

Można udowodnić, że przy niewielkiej szerokości chodnika ekstremalne wartości nachyleń występują w odległości:

$$x = \frac{r}{\sqrt{2\pi}} \cong 0.4r \text{ od jego środka.}$$

Uwzględniając powyższe, uzyskuje się następujący wzór na ekstremalne wartości nachyleń powierzchni terenu na skutek likwidacji pojedynczego wyrobiska chodnikowego:

$$T_{ekstr} = \frac{w_{\max}}{r} \left\{ \exp \left[-\frac{\pi}{r^2} \left(-\frac{b}{2} - \frac{r}{\sqrt{2\pi}} \right)^2 \right] - \exp \left[-\frac{\pi}{r^2} \left(\frac{b}{2} - \frac{r}{\sqrt{2\pi}} \right)^2 \right] \right\} \quad (17)$$

Dla wyrobisk o niewielkiej szerokości ekstremalne krzywizny powierzchni terenu oraz odkształcenia poziome występują w punktach zlokalizowanych ponad ich centrum, gdzie ich wartości wynoszą:

- krzywizny:

$$K_{ekstr} = \frac{2\pi b w_{\max}}{r^3} \exp \left[-\frac{\pi}{r^2} \left(\frac{b}{2} \right)^2 \right] \quad (18)$$

- odkształcenia poziome:

$$\varepsilon_{ekstr} = BK_{ekstr} = \frac{\sqrt{2\pi} b w_{\max}}{r^2} \exp \left[-\frac{\pi}{r^2} \left(\frac{b}{2} \right)^2 \right] \cong \frac{2.507 b w_{\max}}{r^2} \exp \left[-\frac{\pi}{r^2} \left(\frac{b}{2} \right)^2 \right] \quad (19)$$

Dla komór o długości a i szerokości b wzory na ekstremalne wartości wskaźników deformacji są następujące:

- osiadania:

$$w_{ekstr} = -w_{max} \Phi \left[\frac{\sqrt{\pi} b}{r} \frac{1}{2} \right] \Phi \left[\frac{\sqrt{\pi} a}{r} \frac{1}{2} \right] \quad (20)$$

- nachylenia powierzchni terenu:

$$T_{ekstr} = \frac{w_{max}}{r} \left\{ \exp \left[-\frac{\pi}{r^2} \left(\frac{a}{2} - \frac{r}{\sqrt{2\pi}} \right)^2 \right] - \exp \left[-\frac{\pi}{r^2} \left(-\frac{a}{2} - \frac{r}{\sqrt{2\pi}} \right)^2 \right] \right\} \Phi \left[\frac{\sqrt{\pi}}{r} \left(\frac{b}{2} \right) \right] \quad (21)$$

- krzywizny powierzchni terenu:

$$K_{ekstr} = \frac{2\pi a w_{max}}{r^3} \exp \left[-\frac{\pi}{r^2} \left(\frac{a}{2} \right)^2 \right] \Phi \left[\frac{\sqrt{\pi} b}{r} \frac{1}{2} \right] \quad (22)$$

- odkształcenia poziome powierzchni terenu:

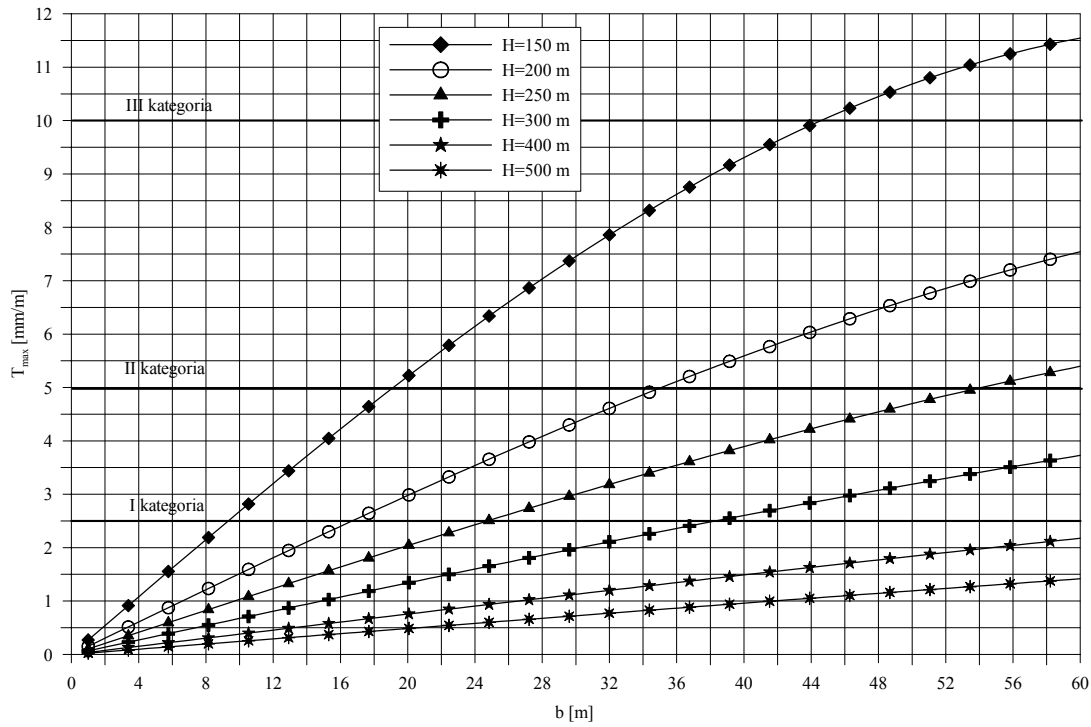
$$\varepsilon_{ekstr} = \frac{\sqrt{2\pi} a w_{max}}{r^2} \exp \left[-\frac{\pi}{r^2} \left(\frac{a}{2} \right)^2 \right] \Phi \left[\frac{\sqrt{\pi} b}{r} \frac{1}{2} \right] \cong \frac{2.507 a w_{max}}{r^2} \exp \left[-\frac{\pi}{r^2} \left(\frac{a}{2} \right)^2 \right] \Phi \left[\frac{\sqrt{\pi} b}{r} \frac{1}{2} \right] \quad (23)$$

3. OCENA WPŁYWU LIKWIDACJI WYROBISK CHODNIKOWYCH NA POWIERZCHNIĘ TERENU

Wzory (16) do (19) podane w rozdziale 2 umożliwiają oszacowanie ekstremalnych wartości wskaźników deformacji, które wystąpić mogą na powierzchni terenu na skutek zaważenia się pojedynczego wyrobiska chodnikowego. Korzystanie z tych wzorów jest kłopotliwe, ponieważ występuje w nich całka prawdopodobieństwa (funkcja Krampa), której wartości określić można stosując odpowiednie tablice lub programy obliczeniowe. Dla ułatwienia procesu prognozowania sporządzono więc nomogramy umożliwiające określenie ekstremalnych wartości nachyleń (rys.1) i odkształceń poziomych powierzchni terenu (rys. 2) w zależności od szerokości wyrobiska chodnikowego i głębokości jego zalegania, zmieniającej się w zakresie od 150 do 500 m.

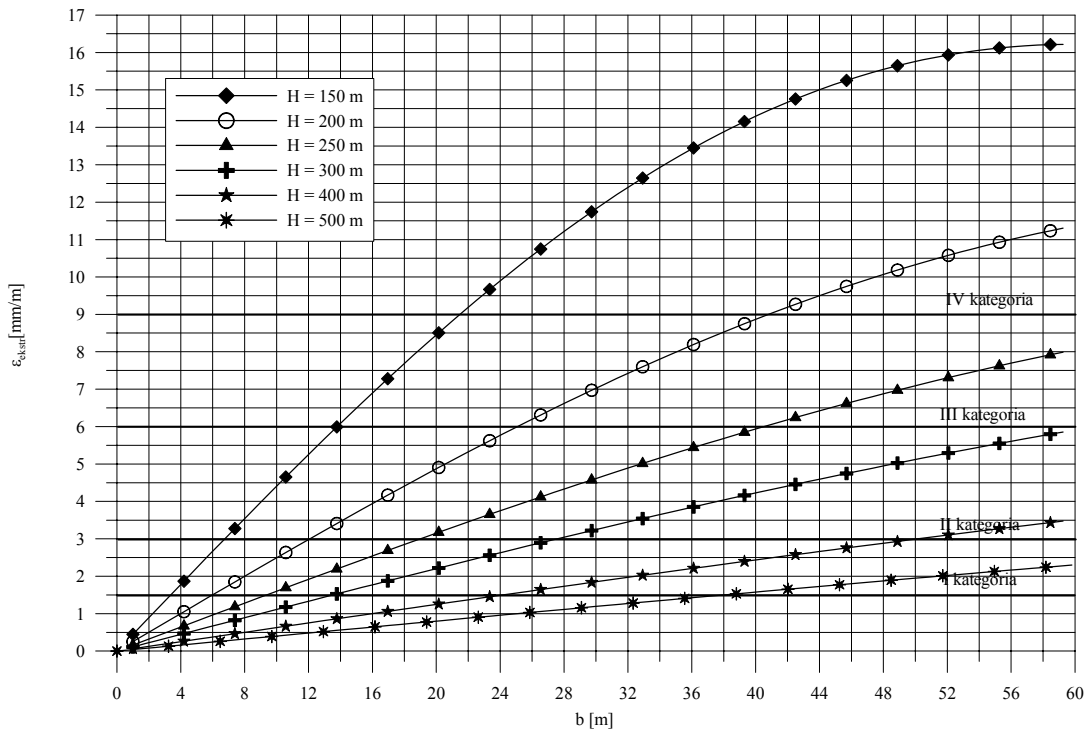
Wykresy te sporządzono przy założeniu, że:

- wartość osiadań maksymalnych $w_{max} = 1.0$ m,
- kąt zasięgu wpływów głównych $\beta = 63.43^\circ$ ($\text{tg}\beta = 2.0$),
- współczynnik odkształceń poziomych $B = 0.4r$.



Rys. 1. Wykresy zależności ekstremalnych nachyleń powierzchni terenu od szerokości wyrobiska chodnikowego (dla $w_{max} = 1.0$ m)

Fig.1. The extreme surface inclinations for different width of dog heading ($w_{max} = 1.0$ m)



Rys. 2. Wykresy zależności ekstremalnych wartości odkształceń poziomych powierzchni terenu od szerokości wyrobiska chodnikowego (dla $w_{max} = 1.0$ m).

Fig.2. The extreme surface horizontal strains for different width of dog heading (for $w_{max} = 1.0$ m)

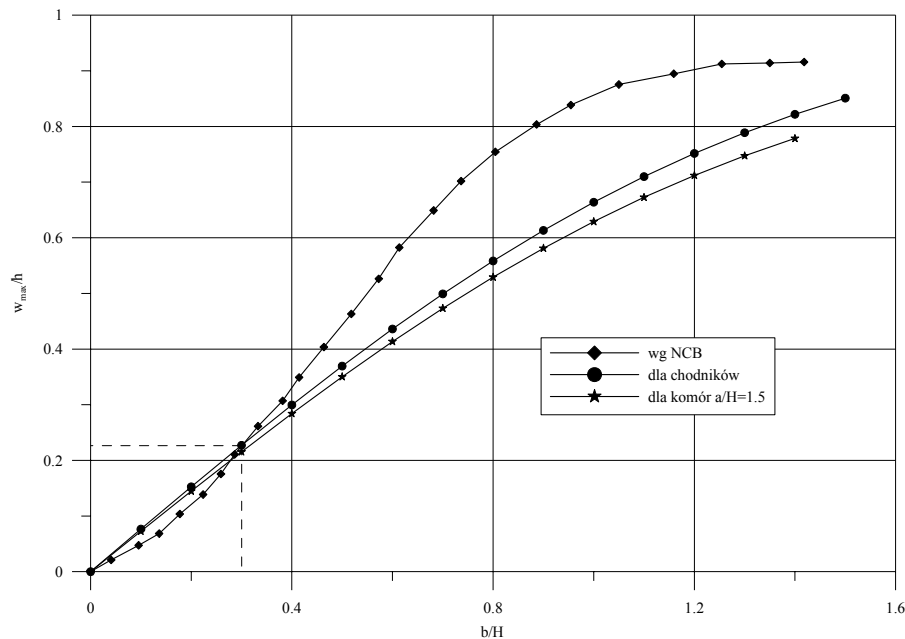
Z wykresów zamieszczonych na rys.1 wynika, że wpływ likwidacji wyrobisk chodnikowych na nachylenia powierzchni terenu w bardzo dużym stopniu zależy od głębokości ich lokalizacji. Im głębokość ta jest mniejsza, tym stopień zagrożenia jest większy. Podobny wpływ głębokości obserwuje się w odniesieniu do odkształceń poziomych powierzchni (rys. 2). Wynika stąd wniosek, że największe deformacje wywołać może samolikwidacja poprzez zawał wyrobisk zlokalizowanych na niewielkiej głębokości. W rozpatrywanym zakresie głębokości zarówno nachylenia jak i odkształcenia poziome wzrastają wraz z wzrostem szerokości chodnika. Dla dużych głębokości, większych od 200 m, jest to zależność zbliżona do liniowej. Na tej podstawie można sformułować wniosek, że wzrost szerokości wyrobisk korytarzowych powoduje liniowy wzrost wskaźników deformacji.

Ponieważ wszystkie wskaźniki deformacji są wprost proporcjonalne do w_{max} , rzeczywiste ich wartości uzyskać można poprzez wymnożenia wartości odczytanych z nomogramów przez spodziewaną wartość przemieszczeń stropu chodnika. Przy dużych wymiarach przestrzeni wyeksploatowanej przyjmuje się najczęściej, że wartość w_{max} równa jest iloczynowi miąższości eksploatowanej warstwy g i współczynnika eksploatacji a zależnego od sposobu wypełnienia zrobów ($w_{max} = ag$). Ponieważ stosowanie tej metodyki dla wyrobisk o niewielkich wymiarach poprzecznych, prowadzących do powstania niepełnych niecek obniżeniowych, budzi pewne wątpliwości, wyniki uzyskiwane z przedstawionych wyżej wzorów porównano z wynikami metody wyznaczania parametrów niecek osiadania opracowanej przez brytyjską Narodową Radę Węglową NCB (Subsidence... 1965), (Ryncarz 1992), (Ochrona... 1980). Jest to metoda empiryczna, która na podstawie tablic i wykresów umożliwia prognozowanie wskaźników deformacji dla różnych sytuacji eksploatacyjnych, w tym również dla niecek niepełnych. Dla porównania tej metody ze stosowaną w pracy teorią Budryka-Knothego przeprowadzono obliczenia ekstremalnych przemieszczeń wg wzoru (16) dla wyrobisk chodnikowych oraz wzoru (20) dla komór. Obliczenia te przeprowadzono dla bezwymiarowych współrzędnych b/H i w_{ekstr}/h , gdzie h jest wysokością wyrobiska. Założono, tak jak w metodzie NBC (Ryncarz 1992), że kąt zasięgu wpływów głównych wynosi 37.75° . Przy obliczeniach dla komór przyjęto, że wymiar $a/H = 1.5$.

Wyniki obliczeń przedstawiono na rys. 3.

Porównanie uzyskanych wyników wskazuje, że dla niewielkich wymiarów wyrobisk, dla których wartość bezwymiarowej współrzędnej $b/H \leq 0.3$, wyniki uzyskane z zastosowania proponowanych wzorów są podobne do uzyskanych z empirycznej metody NBC. Na tej podstawie można stwierdzić, że w rozpatrywanym w pracy zakresie wymiarów wyrobisk proponowana metodyka, oparta o teorię Budryka-Knothego, daje poprawne wyniki. Można

więc przyjąć, że przy prognozowaniu deformacji na skutek likwidacji wyrobisk chodnikowych i komorowych dopuszczalne jest określanie wartości w_{max} ze wzoru $w_{max} = ah$.



Rys. 3. Porównanie wielkości osiadań ekstremalnych uzyskanych z zastosowania metody NCB oraz teorii Budryka-Knothe.

Fig. 3 . The extreme surface subsidence comparison from NCB method and Budryk-Knothe theory.

4. OCENA WPŁYWU LIKWIDACJI WYROBISK KOMOROWYCH NA POWIERZCHNIĘ TERENU

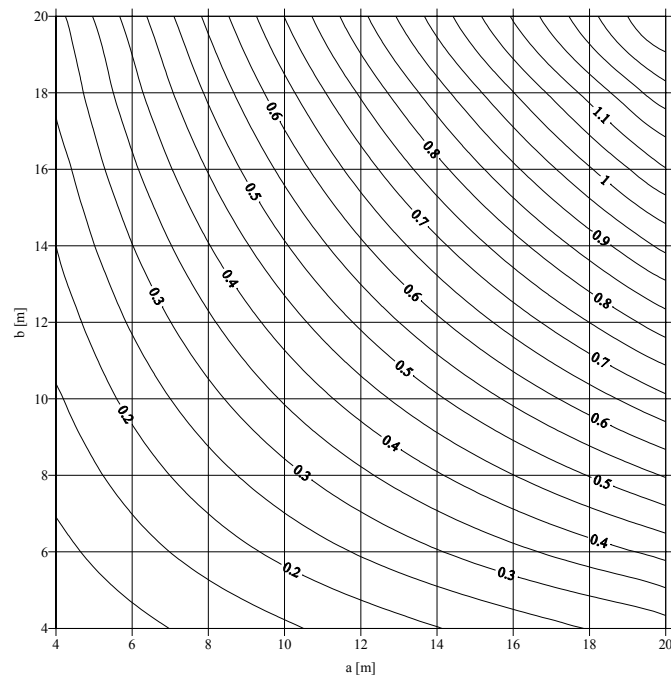
Dla oceny wpływu likwidacji wyrobisk komorowych na deformacje powierzchni terenu przeprowadzono obliczenia nachyleń ekstremalnych wg wzoru (21) oraz odkształceń ekstremalnych wg wzoru (23) dla wymiarów przekroju poprzecznego zmieniających się w zakresie od 1 do 20 m. Obliczenia, w których podobnie jak w poprzednim rozdziale przyjęto, że:

- wartość osiadań maksymalnych $w_{max} = 1.0$ m,
- kąt zasięgu wpływów głównych $\beta = 63.43^\circ$ ($\text{tg}\beta = 2.0$),
- współczynnik odkształceń poziomych $B = 0.4r$,

przeprowadzono dla zmiennych wartości szerokości wyrobisk komorowych b i długości a w zakresie od 4 do 20 m oraz głębokości zawartych w przedziale od 150 do 400 m.

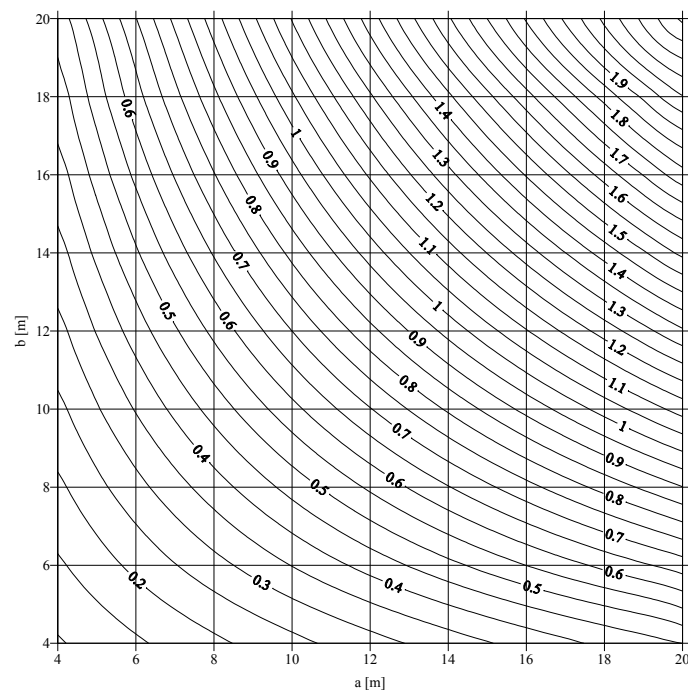
Na podstawie uzyskanych wyników sporządzono mapy izolinii nachyleń i odkształceń poziomych, które umożliwiają prognozowanie ekstremalnych ich wartości na skutek

likwidacji pojedynczych komór o dowolnych wymiarach, zlokalizowanych na różnej głębokości. Mapy te przedstawiono na rysunkach od 4 do 13.



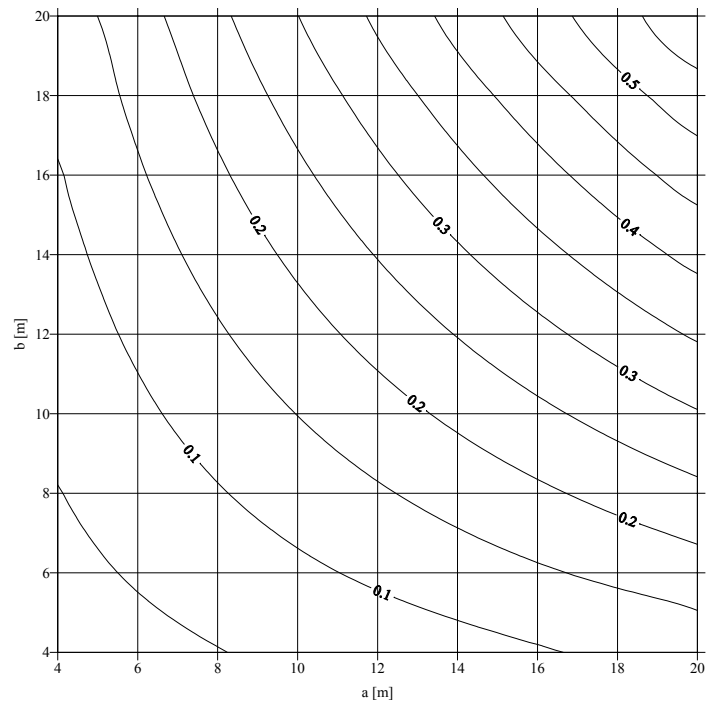
Rys. 4. Wykresy nachyleń maksymalnych w zależności od wymiarów poprzecznych wyrobisk komorowych dla $H = 150$ m.

Fig. 4. The extreme surface inclinations for different width of dog heading for $H = 150$ m



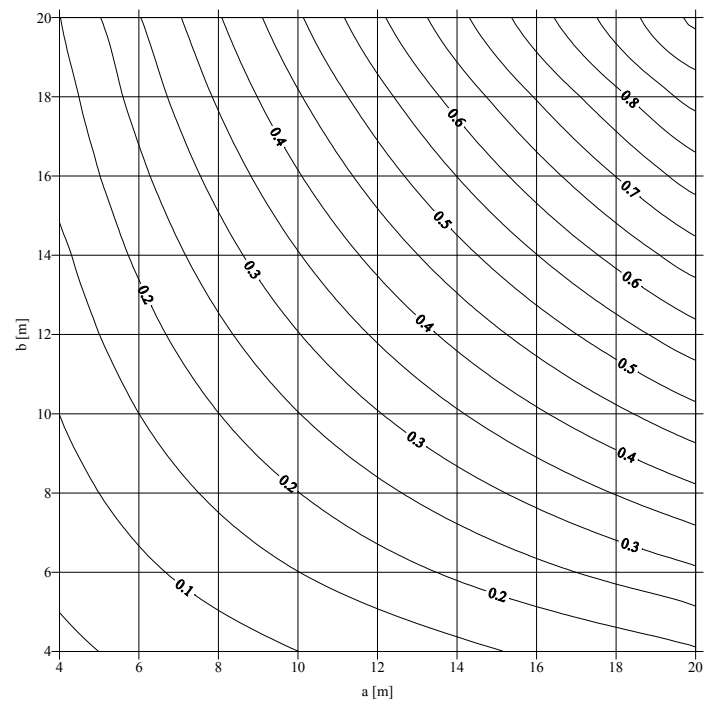
Rys. 5. Wykresy poziomych odkształceń maksymalnych w zależności od wymiarów poprzecznych wyrobisk komorowych dla $H = 150$ m

Fig. 5. The extreme horizontal strains for different width of dog heading for $H = 150$ m



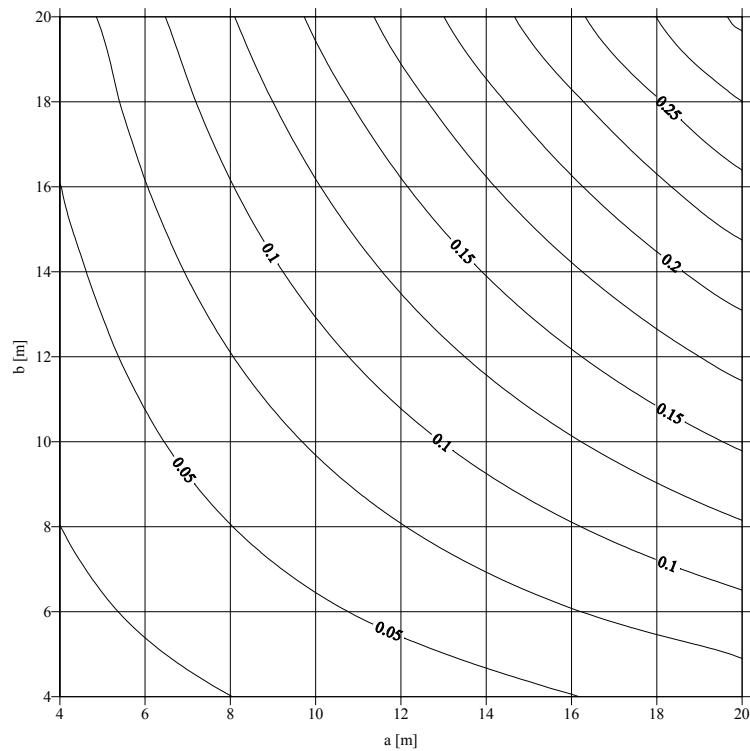
Rys. 6. Wykresy nachyleń maksymalnych w zależności od wymiarów poprzecznych wyrobisk komorowych dla $H = 200$ m

Fig. 6. The extreme inclinations for different width of dog heading for $H = 200$ m



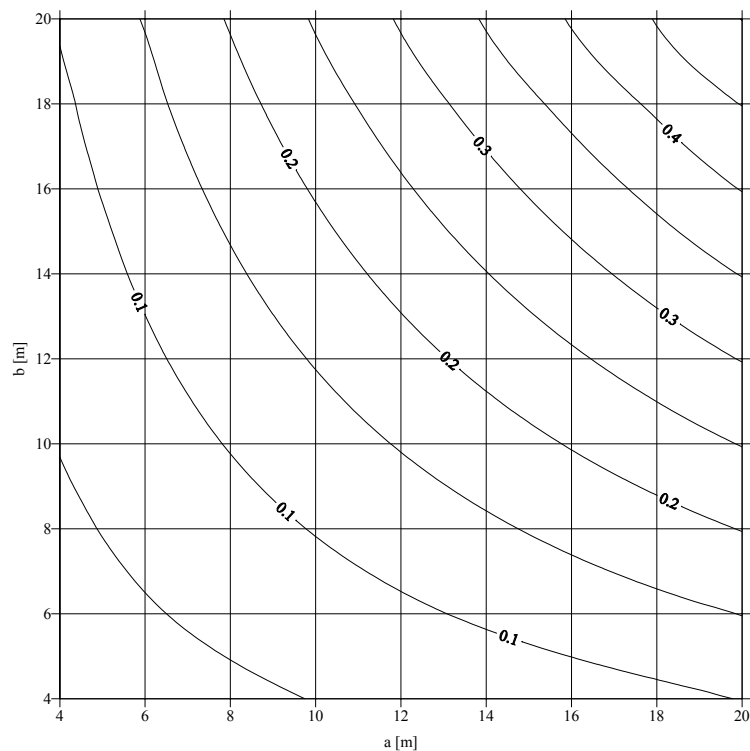
Rys. 7. Wykresy poziomych odkształceń maksymalnych w zależności od wymiarów poprzecznych wyrobisk komorowych dla $H = 200$ m

Fig. 7. The extreme horizontal strains for different width of dog heading for $H = 200$ m



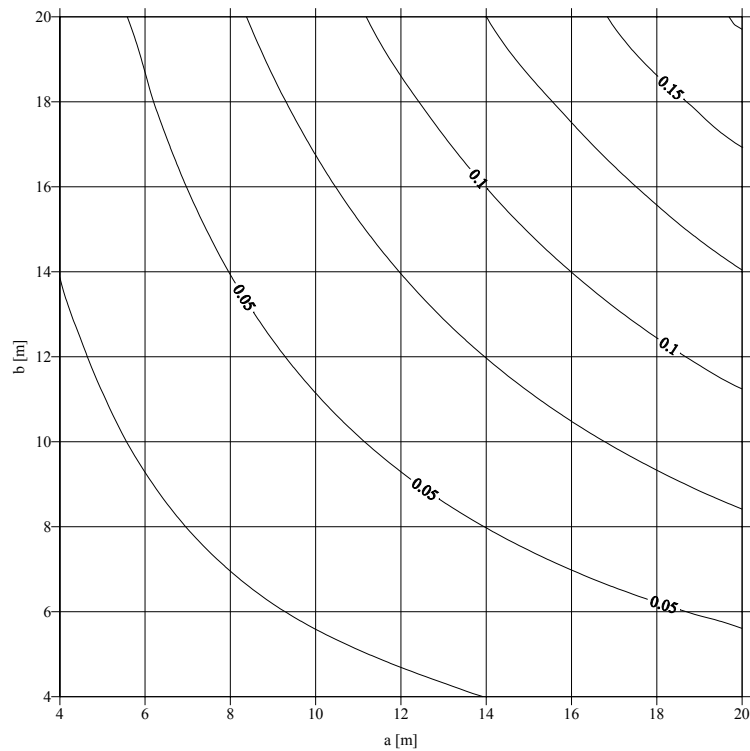
Rys. 8. Wykresy nachyleń maksymalnych w zależności od wymiarów poprzecznych wyrobisk komorowych dla $H = 250$ m

Fig. 8. The extreme inclinations for different width of dog heading for $H = 250$ m



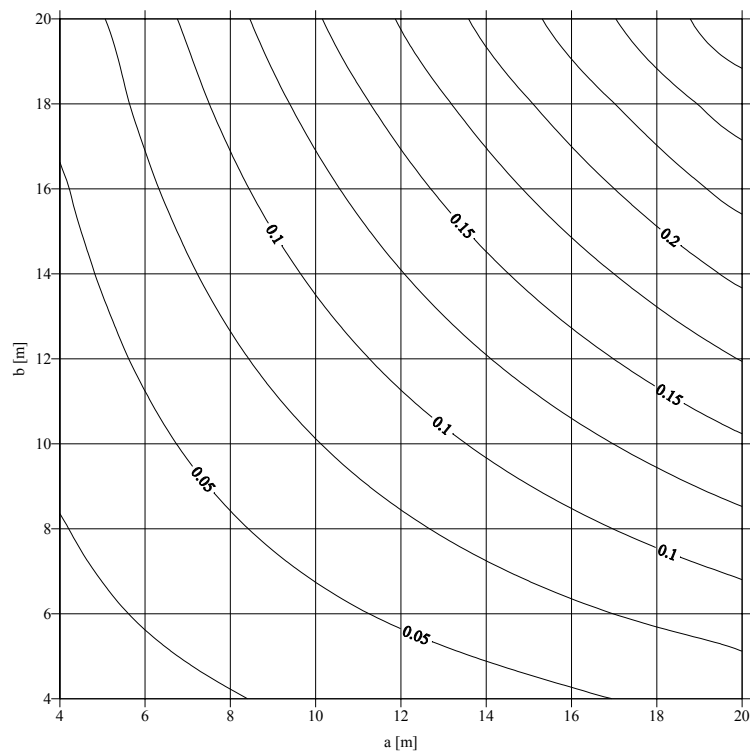
Rys. 9. Wykresy poziomych odkształceń maksymalnych w zależności od wymiarów poprzecznych wyrobisk komorowych dla $H = 250$ m

Fig. 9. The extreme horizontal strains for different width of dog heading for $H = 250$ m



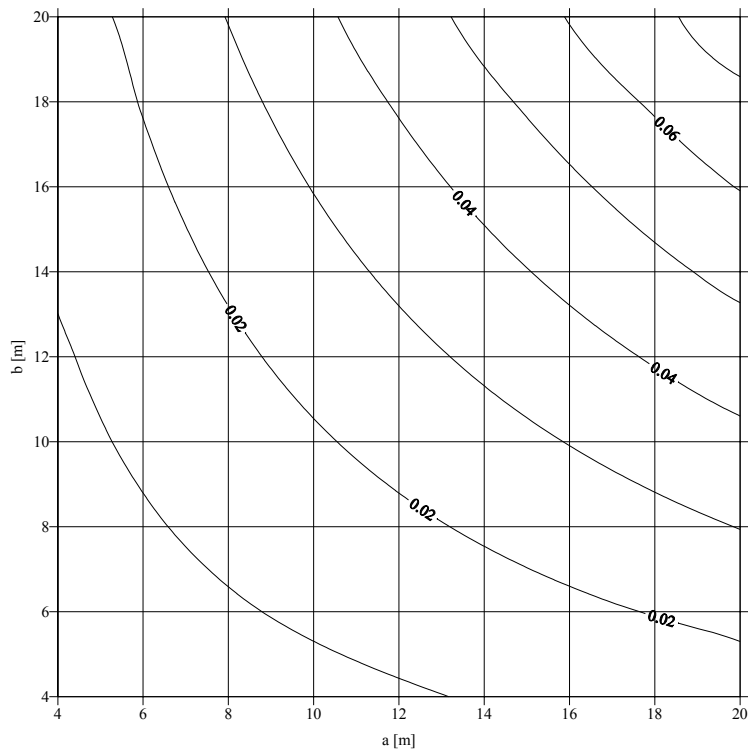
Rys. 10. Wykresy nachyleń maksymalnych w zależności od wymiarów poprzecznych wyrobisk komorowych dla $H = 300$ m

Fig. 10. The extreme inclinations for different width of dog heading for $H = 300$ m



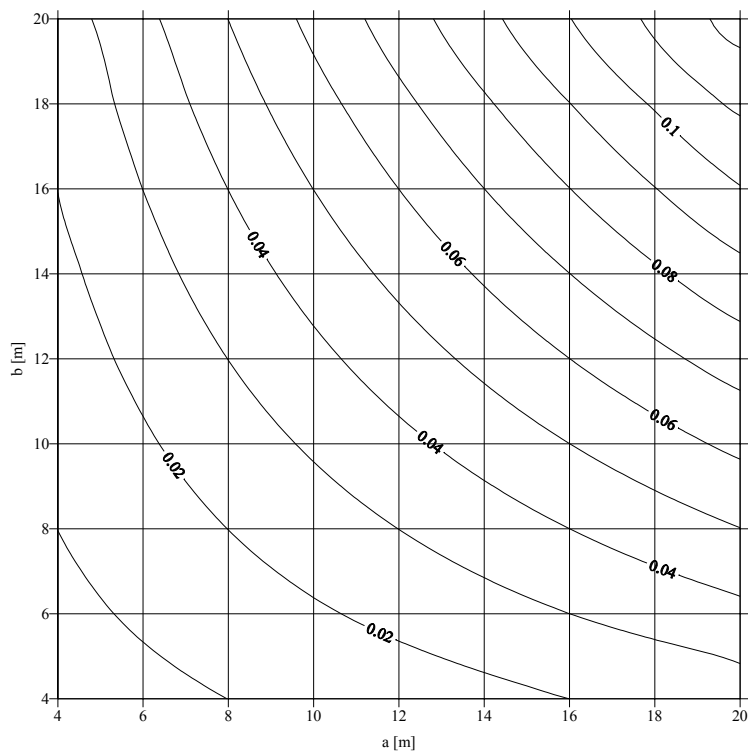
Rys. 11. Wykresy poziomych odkształceń maksymalnych w zależności od wymiarów poprzecznych wyrobisk komorowych dla $H = 300$ m

Fig. 4. The extreme horizontal strains for different width of dog heading for $H = 300$ m



Rys. 12. Wykresy nachyleń maksymalnych w zależności od wymiarów poprzecznych wyrobisk komorowych dla $H = 400$ m

Fig. 12. The extreme inclinations for different width of dog heading for $H = 400$ m



Rys. 13. Wykresy poziomych odkształceń maksymalnych w zależności od wymiarów poprzecznych wyrobisk komorowych dla $H = 400$ m

Fig. 13. The extreme horizontal strains for different width of dog heading for $H = 400$ m

5. PODSUMOWANIE

W prezentowanej pracy przedstawiano metodykę prognozowania ekstremalnych wartości wskaźników deformacji, jakie mogą wystąpić na powierzchni terenu po zakończeniu procesu likwidacji pojedynczych wyrobisk chodnikowych i komorowych. Wyprowadzone, przy zastosowaniu teorii Budryka-Knothe'go wzory, oraz sporządzone na ich podstawie nomogramy umożliwiają prostą i szybką ocenę skutków pozostawienia nie podsadzonych wyrobisk, oraz wytypowanie wyrobisk, których podsadzenie jest niezbędne dla uzyskania założonego stopnia ochrony powierzchni. Wyniki uzyskiwane z zaproponowanej metodyki porównano z empiryczną metodą opracowaną przez brytyjską Narodową Radę Węglową NCB, która na podstawie tablic i wykresów umożliwia prognozowanie wskaźników deformacji dla różnych sytuacji eksploatacyjnych, w tym również dla niecek niepełnych. Duża zgodność obydwu metod, jaką uzyskano dla wyrobisk o niewielkich wymiarach, dla których $b/H \leq 0.3$, potwierdza słuszność przyjętych założeń i wskazuje na przydatność proponowanej metodyki do celów praktycznych.

LITERATURA

- Białek J., 1991: *Opis nieustalonej fazy obniżenia terenu górniczego z uwzględnieniem asymetrii wpływów końcowych*. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej nr 1106, Gliwice.
- Flisiak J., 1989: *Zastosowanie mikrokomputerów do prognozowania deformacji górotworu*. ZN AGH nr 1243 s. Górnictwo z.142, Kraków.
- Flisiak J., 1993: *Prognozowanie wpływu eksploatacji otworowej złóż siarki na deformacje górotworu*. Kwartalnik Górnictwo, z.3, Kraków.
- Kwiatek J., Kowalski A., Jędrzejec E., 1994: *Ochrona powierzchni nad szybko postępującym frontem eksploatacyjnym*. Przdki ścianowe o wysokiej koncentracji produkcji. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- Knothe S.: *Prognozowanie wpływu eksploatacji górniczej*. Wyd. Śląsk, Katowice 1984
- Ochrona powierzchni przed szkodami górniczymi*. Wyd. Śląsk, Katowice 1980.
- Piwowski W., Dzięgiel B., Niedojadło Z., 1995: *Współczesne teorie ruchów górotworu i ich zastosowania*. Wyd. AGH, Kraków.
- Ryncarz T., 1992: *Ruchy górotworu wywołane wyrobiskami podziemnymi*. Wydawnictwa AGH, SU 1295, Kraków.
- Sroka A., 1978: *Teoria S.Knothe'go w ujęciu czasoprzestrzennym*. Prace Komisji Górn. Geod. PAN, Geodezja 24, Kraków.
- Subsidence Engineers Handbook*. National Coal Board, London 1965.

THE INFLUENCE OF UNFILLED NEAR SHAFT CHAMBERS ON SURFACE DEFORMATIONS.

Abstract

The process of restructuring of underground coal mining is accompanied with the liquidation of several not profitable collieries. Most of underground mines is localised under highly urbanised areas. These areas are (or would be) used for industrial or civil purposes, what is connected with occurrence (or plans to erect) of several buildings. That's why, one of the most important problem is developing the reliable methodology for immediate and perspective prediction of colliery liquidation effects on the environment. This paper shows the methodology for predicting of extreme values of surface deformation which may occur after the end of self-liquidation process of chambers and dog headings. The equations and nomographs derived from Budryk-Knothe theory, allow to estimate the effects of abandoning the unfilled underground openings in the very easy and fast way. One can also evaluate which underground openings are necessary to backfill for to obtain the assumed level of surface protection.